Philosophie

Relativitätstheorie und elementare Erfahrung

Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde
der Hohen philosophischen Fakultät
der Schlesischen Friedrich-Wilhelms-Universität
zu Breslau
vorgelegt von

Wilhelm Jedlitzka
Studienassessor.

Promotion: 2. August 1930.

Breslau 1930

Spezial-Druckerei für Dissertationen Dr. Hermann Eschenhagen, KG., Ohlau i. Schl.

R. UNIV.
BIBLIOTHEK
BERLIN

Referent: Prof. Dr. Hönigswald
Korreferent: Prof. Dr. Kühnemann
Rigorosum am 19. Februar 1930

Gedruckt mit Genehmigung der Philosophischen Fakultät
der Schlesischen Friedrich-Wilhelm-Universität zu Breslau.

I.

Jede neue Theorie will neue Synthesen ermöglichen. Dies ist das Kriterium ihrer Fruchtbarkeit. Auch die Relativitätstheorie, der klassischen Physik gegenüber eine neue Theorie, muß unter diesem Gesichtspunkt beurteilt werden. Auch sie ermöglicht Synthesen, als physikalische Theorie zunächst nur Synthesen physikalischer Art; sie ist Repräsentant eines Fortschritts der physikalischen Methode, also der physikalischen Erkenntnis. Erkenntnis aber „geht aus" von „Sachverhalten", die für die Aufgabe zu erkennen, „gegeben" sein müssen. Sie gliedert (analysiert) das für sie „Gegebene", sie stellt fest, welche Momente in einem Sachverhalt bereits miteinander „zusammenhängend" gedacht werden und unter welchen „Gesichtspunkten" dieser Zusammenhang bestimmbar ist. Sie stellt ferner fest, an welchen Stellen der Zusammenhang „undurchsichtig", „unterbrochen" oder „zufällig" ist.

Diese „Singularitäten der Bestimmtheit" eines Sachverhalts bieten nun stets besonderes Interesse. Sie treten in Analogie zu den Singularitäten einer analytischen Funktion, durch die für jedes vorgeschriebene „Beziehungszentrum" eines bestimmten Blattes der zur Funktion gehörigen Riemannschen Fläche die Grenzen desjenigen Gebiets festgelegt sind, innerhalb dessen ein um dieses Beziehungszentrum entwickelbares „Funktionselement" die Funktion auch wirklich darstellt. Auch für jeden wissenschaftlichen Sachverhalt gibt es das Verfahren der „analytischen Fortsetzung", also Methoden, diese „Singularitäten der Bestimmtheit" zu umgehen. Manchmal stellt sich auch, genau wie bei gewissen analytischen Funktionen heraus, daß ein Punkt nach einem oder mehreren „Umläufen"der Entwicklung seinen Singularitätscharakter verloren hat und daß die Funktion in ihm nunmehr „regulär" ist. Es kann aber auch vorkommen — und dieser Fall ist noch interessanter — daß der Prozeß der analytischen Fortsetzung wie bei den automorphen Funktionen niemals aus einem bestimmten endlichen Gebiet herausführt, sondern, daß der

mögliche Definitionsbereich der Funktion eine „natürliche Grenze" besitzt, auf der sich die Singularitäten häufen.

Von solcher Art nun sind nach Kant die Begriffe einer Wissenschaft: Für jeden Punkt des Bereichs der Erfahrung definierbar, aber über diesen Bereich hinaus ohne analytische Fortsetzung. Die Aufgabe der Erkenntnislehre besteht nur darin, die Begriffe einer Wissenschaft auf ihre Tauglichkeit für die Bestimmung des Zusammenhangs der Erfahrung zu prüfen und die unberechtigte Verwendung dieser Begriffe auszuschalten.

II.

Die Physik bedarf zum Aufbau ihres Lehrgebäudes gewisser sachlicher Voraussetzungen, deren Bedeutung für die physikalische Methode, aber auch für die Lehre vom Begriff der Erkenntnis zum Problem gemacht werden kann. Diese Voraussetzungen gehen ein in die Grundbegriffe, Grundsätze und Methoden, denen gemäß „Erkenntnis" sich als p h y s i k a l i s c h e Erkenntnis bestimmt. Um nun die Physik in den sicheren Gang einer Wissenschaft zu bringen, bedarf man gewisser Ordnungssysteme, also der von der Erfahrung relativ unabhängigen Entfaltung der Mathematik bis zu einem bestimmten, je nach der betriebenen physikalischen Disziplin verschiedenen Grade.

Nun ist bekannt, daß die Physik der „makroskopischen" wie der „Elementarerscheinungen" im Laufe ihrer Entwicklung Schwierigkeiten allgemein-begrifflicher Natur aufgedeckt hat, die m e h r sind, als physikalisch-technische Schwierigkeiten. Diese Schwierigkeiten haben zu einer Revision der begrifflichen Grundlagen der Physik und zu neuer Erörterung des Sinns der Rede von der „Anwendung" der Mathematik auf die Erfahrung gezwungen. Relativitätstheorie und Quantenlehre sind diejenigen physikalischen Disziplinen, die aus dem Bestreben nach Ueberwindung jener Schwierigkeiten hervorgegangen sind. Beide Theorien vermitteln Einsichten in die Natur der physikalischen Begriffsbildung, die das höchste Interesse der wissenschaftlichen Philosophie beanspruchen dürfen. Dieses Interesse beanspruchen sie aus sachlichen wie aus histori-

schen Gründen, denn im Verlaufe der Entwicklung erkenntnistheoretischer Konsequenzen aus der neuen Grundlegung der Physik ist es von Seiten mancher Mathematiker und Physiker zu einer Polemik gegen die „traditionelle" Philosophie einschließlich der Erfahrungstheorie Kants gekommen.

In vorliegender Arbeit nun sollen die begrifflichen Schwierigkeiten der „makroskopischen" Physik in großen Umrissen gekennzeichnet und ihre durch die Relativitätstheorie dargebotene Auflösung analysiert werden. Diese Analyse, bei der zugleich die neueren Auffassungen über das Verhältnis von Mathematik und Physik zur Sprache kommen, soll dann über den Gesichtskreis der Physik hinaus bis zum Problem der „elementaren Erfahrung" fortgesetzt und der logische Ort der Grundbegriffe der Physik im Rahmen des allgemeinen Erkenntnisproblems — man spricht ja nicht nur von mathematischer und physikalischer Erkenntnis — aufs neue bestimmt werden. Die Arbeit ist demnach ein Beitrag zur Theorie eines definierten Begriffs der mathematischen und physikalischen Erkenntnis und ihres Gegenstandes. Die Untersuchungen gehen aus von dem Gedanken, daß mit dem Problem des mathematischen Axioms und der Ermittlung seiner genauen Bedeutung für den Aufbau der physikalischen Erkenntnis einerseits die Frage nach der besonderen Wissenschaftsnatur von Mathematik und Physik, damit zugleich aber das Problem der „elementaren Erfahrung" und damit wieder das allgemeine Problem des definierten Begriffs der Erkenntnis gefördert wird. Dieses allgemeine Problem des definierten Begriffs der Erkenntnis aber ist das Problem eines „Systems" der Wissenschaften, das Hauptproblem einer selbst wissenschaftlichen Philosophie.

III.

Die Frage nach dem Geltungsanspruch einer mathematischen Disziplin, z. B. der Geometrie, reduziert sich bekanntlich auf das Problem des „Geltungsanspruchs" der Axiome. Bleiben wir bei dem Beispiel der Geometrie. Die Untersuchung der logischen Stellung des geometrischen Axioms weist nach

zwei Richtungen: erstens nach der Seite der immanent-mathematischen Bedeutung des geometrischen Axioms, zweitens nach der Seite der Bedeutung des geometrischen Axioms für den Begriff der Erfahrung.

Die Untersuchung der immanent-mathematischen Bedeutung des geometrischen Axioms hat ergeben, daß dieses in der Geometrie als autonomer mathematischer Disziplin als „implizite Definition" aufgefaßt werden muß. In den Axiomen der Geometrie werden also die Begriffe „geometrisches Fundamentalelement" und „geometrische Fundamentalbeziehung" oder „geometrische Eigenschaft" erstmalig streng definiert. Die Geometrie als „reine Beziehungslehre" wäre demzufolge die Wissenschaft, die nur von d e n „Dingen" handelt, die in den Axiomen „genannt" werden. Von diesen „Dingen" wird wiederum nichts weiter vorausgesetzt, als daß die in den Axiomen genannten Beziehungen per definitionem auf sie passen. Aus dieser immanent-geometrischen Bedeutung des Axioms als „impliziter Definition" folgt ohne weiteres das Recht der Konstruktion einer anderen als etwa der euklidischen Geometrie. Insbesondere beweist das Kleinsche Modell der hyperbolischen Geometrie im euklidischen Raum erstens die logische Gleichberechtigung dieser hyperbolischen Geometrie mit der euklidischen (deren Widerspruchslosigkeit meist vorausgesetzt wird), zweitens im Zusammenhang damit durch Umkehrung des Gedankengangs den immanent-geometrischen Charakter des Axioms als impliziter Definition.

Nun aber handelt es sich weiter um die Bedeutung der Mathematik, speziell der Geometrie für die p h y s i k a l i s c h e E r k e n n t n i s, also um den Sinn der Rede von der „Anwendung" der Mathematik auf die Physik. Auch in der P h y s i k spricht man ja, genau wie in der Geometrie, wenn auch in anderem, noch genauer zu bestimmenden Sinn des Wortes vom „Raum" und von „Zusammenhangs- und metrischen Eigenschaften" des Raumes. Wie eben erwähnt, ist aber der metrische, zum Beispiel euklidische Charakter einer Punktmannigfaltigkeit in der „abstrakten Geometrie", der Geometrie als „reiner Beziehungslehre", gar keine „absolute" Eigenschaft dieser Punktmannigfaltigkeit, sondern steht in Abhängigkeit von der für sie angesetzten „metrischen Fundamentalform" oder von entsprechenden Axiomen der synthetischen Geometrie. In der reinen G e o m e t r i e sind also die metri-

schen genau wie die topologischen Eigenschaften einer Punktmannigfaltigkeit Definitionssache. In der Physik aber erscheinen die topologischen und metrischen Eigenschaften eines „Raumes", schon wegen der relativen Undefiniertheit dieses Begriffs für die Physik zunächst als ein schwerwiegendes grundsätzliches Problem. Hier nämlich gehen, gerade weil der Raum der reinen Geometrie ohne nähere axiomatische Festlegung topologisch und metrisch indifferent ist, Rücksichten ein, die der reinen Geometrie ihrem Begriff nach fremd sein müssen. Die vollständige Definition des Begriffs „physikalischer Raum" aber ist gerade wegen der geforderten Unabhängigkeit der „abstrakt-geometrischen" Axiome voneinander ohne kritische Besinnung auf die Bedeutung des Begriffs „physikalischer Raum" für die Bestimmung der „Erfahrung" nicht zu leisten. Der Begriff „Erfahrung" aber tritt in zwei Bedeutungen auf: erstens als etwas, von dem die Physik mit noch anderen „Erfahrungswissenschaften" logisch wie psychologisch „ausgeht", mit Bezug worauf die Physik sich also erst definieren läßt, und zweitens tritt die „Erfahrung" auf als Ziel der physikalischen Bestimmung.

Dieser Zusammenhang zwischen der geforderten Bestimmtheit der Erfahrung einmal als Ansatzpunkt, zum anderen als Ziel der physikalischen Begriffsbildung soll nun unter Bezugnahme auf die der Relativitätstheorie zugrunde liegende, aber auch auf die neu von ihr geschaffene Sachlage untersucht werden.

IV.

Um den Uebergang von der sogenannten „abstrakten Geometrie" als reiner Beziehungslehre zur Physik zu finden, um also von der „Anwendung" der Mathematik auf Erfahrung reden zu können, muß ein Hilfsbegriff eingeschaltet werden. Dieser Hilfsbegriff spielt übrigens schon innerhalb der Mathematik, bei der Anwendung einer mathematischen Disziplin auf eine andere, etwa bei der Anwendung der Analysis auf die Geometrie eine fundamentale Rolle. Die Grundbegriffe einer mathematischen Disziplin bleiben ja innerhalb dieser, d. h. abgesehen von ihrer Verknüpfung in einem bestimmten Axiomensystem, „inhaltlich unbestimmt". Z. B. wird in der Geometrie nicht gesagt, „was" ein Punkt oder eine

gerade Linie usw. sind. Um daher von „Anwendung" solcher Grundbegriffe und Grundbeziehungen auf andere Gebiete sprechen zu können, muß man sie mit bereits gegebenen, anderweitig relativ bestimmten Sachverhalten „identifizieren". Diese „Identifizierung" ist eine sogenannte „Zuordnungsdefinition", also eine Aussage synthetischen Charakters. So z. B. muß bei der Anwendung der Analysis auf die euklidische Geometrie festgesetzt werden, welche analytischen Ausdrücke den geometrischen Begriffen „Flächeninhalt" einer krummlinig begrenzten Figur oder Bogenlänge einer Kurve usw. entsprechen sollen.[1] Man hat im vorkritischen Stadium der Analysis den synthetischen Charakter dieser Begriffsbildungen, d. h. die Notwendigkeit und die Bedeutung des „Identifizierungsprinzips" für die „Anwendung" mitunter übersehen und z. B. nicht gewußt, daß es für die Zwecke analytischer Behandlung der Geometrie einer Zuordnungsdefinition für die Bestimmung solcher Begriffe wie „Flächeninhalt" und „Bogenlänge" usw. bedarf. Man übersah dies, weil die Zuordnungsdefinition in den einfachsten Fällen auf der Hand lag. Erst beim Auftreten von Schwierigkeiten oder Widersprüchen wurde man auf die Forderung solcher Zuordnungsdefinitionen aufmerksam.

Genau so verhält es sich nun bei der Anwendung der Mathematik auf die Physik. Auch hier bedarf es einer anderen, aber natürlich viel komplexeren Form der Zuordnungsdefinition als Ausprägung des Identifizierungsprinzips; hier müssen ja die mathematischen, zunächst „inhaltlich unbestimmt" gelassenen Begriffe in Beziehung gebracht werden zu „empirisch-anschaulichen", d. h. in einer relativ zur Physik „elementaren Erfahrung" „aufzeigbaren" „Gegenständen" und „Vorgängen", durch deren Verknüpfung dann die in der Mathematik absichtlich inhaltlich unbestimmt gelassenen Grundbegriffe und Grundbeziehungen erstmalig „inhaltlich" repräsentiert werden sollen. Ist die Identifizierung mathematischer Begriffe durch Zuordnungsdefinition gegeben — wir nehmen einmal an, daß dies möglich sei — so kann jedes Axiom, das nur die in den Zuordnungsdefinitionen vorkommenden, also nunmehr inhaltlich bestimmten Grundbegriffe und Grundbeziehungen enthält, auf eindeutige Weise interpretiert werden. Somit kann auch das Zutreffen oder Nichtzutreffen eines mit dem mathematischen Axiom gleichlautenden, aber nicht

gleichbedeutenden, inhaltlichen Satzes der Physik grundsätzlich durch Erfahrung entschieden werden.

Für gewisse Begriffe und Beziehungen der Physik, z. B. in der Lehre von der Wärme oder von der Elektrizität ist die Notwendigkeit, aber auch die relative Willkürlichkeit von Zuordnungsdefinitionen auch von der klassischen Physik stets zugegeben worden. Man spricht ja direkt von einer „phänomenologischen Behandlung" der Wärmelehre, der Theorie der Gase usw. Durch Aufstellung der Zuordnungsdefinitionen als besonderer Ausprägungen des „Identifizierungspinzips" sichert man sich also den „phänomenologischen Unterbau" der theoretischen Physik. Man denke etwa an die sogenannte „empirische Definition" der Temperatur, der Wärmemenge,[2] ferner an die in den „Dimensionsformeln" physikalischer Größen, z. B. der Elektrizitätsmenge[3] zum Ausdruck kommenden Reduktion dieser Größen auf mechanische, also eine besondere Art von „Erscheinungen".

Für andere Begriffe und Beziehungen dagegen, und zwar speziell in der Mechanik, pflegte man in der klassischen Physik die Bedeutung einer „empirischen" Definition gewisser Beziehungen anders aufzufassen, wenn man nicht diese Definition gar ablehnte. So sagt Newton: „Zeit, Raum, Ort und Bewegung als allen bekannt erkläre ich nicht. Ich bemerke nur, daß man gewöhnlich diese Größen (?) nicht anders als in Bezug auf die Sinne auffaßt, und so gewisse Vorurteile entstehen, zu deren Aufhebung man sie passend in absolute und relative, wahre und scheinbare, mathematische und gewöhnliche unterscheidet." So kam es, daß die klassische Physik von Raum- und Zeitmessungen sprach, ohne doch Raum und Zeit in physikalischer Hinsicht vollständig und explizite definiert zu haben. Offenbar hielt man den Versuch einer physikalischen Definition der Begriffe Raum und Zeit für sinnlos. Dieser Mangel an ausreichender physikalischer Definition der Begriffe Raum und Zeit bot die Gefahr einer „Verabsolutierung" nicht nur dieser Begriffe selbst in der Physik, sondern von allem, was sich in Raum und Zeit „vorfand", z. B. der Masse oder der Energie. Zu einer solchen Verabsolutierung z. B. der Energie sagt Eddington:[4] „Sobald das Prinzip der Erhaltung der Energie gefunden war, machte es der Physiker praktisch zu seiner Energiedefinition, sodaß also die Energie als irgend etwas angesehen wurde, das dem Erhal-

tungsgesetz gehorcht. Er folgte dabei dem Brauche des reinen Mathematikers, indem er die Energie, statt zu beschreiben, wie er sie gemessen hatte, durch diejenigen Eigenschaften definierte, die sie seinem Wunsche gemäß haben sollte. Ein derartiges Verfahren hat sich nun im Lichte der neueren Entwicklungen als recht unglücklich erwiesen."

Und kurz vorher[5] sagt er: „In der klassischen Mechanik wird die Gültigkeit des Erhaltungssatzes durch Einführung einer neuen Energieform, der potentiellen Energie, gerettet, die in $\mathfrak{T}_{\mu}^{\nu}$ nicht enthalten ist. Man nimmt an, daß sie im Schwerefeld aufgestapelt liegt ... Demnach besteht der Unterschied zwischen der relativistischen und der klassischen Behandlung in folgendem: In beiden Theorien wird anerkannt, daß $\mathfrak{T}_{\mu}^{\nu}$ zwar in gewissen Fällen erhalten bleibt, im allgemeinen jedoch diese Tatsache nicht zutrifft. In der Relativitätstheorie erledigt man den allgemeinen Fall durch Aufstellung einer genaueren Formulierung des Verhaltens von $\mathfrak{T}_{\mu}^{\nu}$, die auch dann gilt, wenn $\mathfrak{T}_{\mu}^{\nu}$ nicht streng erhalten bleibt, nämlich der Beziehung $\mathfrak{T}_{\mu\nu}^{\nu} = 0$. Die klassische Theorie behandelt diesen allgemeinen Fall durch Einführung einer weiteren Energieart, sodaß zwar am Erhaltungsgesetz festgehalten wird, jedoch für eine andere Größe, nämlich in der Form $\frac{\partial \mathfrak{T}_{\mu}^{\nu}}{\partial x_{\nu}} = 0$. Die relativistische Behandlung hält also an der physikalischen Größe fest und modifiziert das Gesetz. Die klassische Behandlung dagegen hält am Gesetz fest und modifiziert die Größe. Beide Methoden müßten sich natürlich durch äquivalente Formeln ausdrücken lassen, und wir haben in unseren vorhergehenden Betrachtungen die Gleichung $\mathfrak{T}_{\mu\nu}^{\nu} = 0$ als den Erhaltungssatz von Energie und Moment bezeichnet, weil sie, wenn sie auch der Form nach kein Erhaltungsgesetz ist, doch genau die Tatsachen zum Ausdruck bringt, die im Falle der klassischen Mechanik den Erhaltungssatz ausmachen."

Die Verselbständigung des Gesetzes der Erhaltung der Energie in der klassischen Mechanik — durch beständige Erweiterung des Energiebegriffs — ist ein erstes Beispiel impliziter Definition einer physikalischen Größe durch ein Postulat. Ein anderes Beispiel ist die implizite Definition des physikalischen Zeitmaßes durch das Trägheitsgesetz oder durch die

Forderung des Bestehens der Gesetze der klassischen Mechanik. Diese Fragen werden uns noch beschäftigen.

Vernachlässigt man jedenfalls die Forderungen des „Identifizierungsprinzips", also die Notwendigkeit ausreichender Zuordnungsdefinitionen für den physikalischen Gebrauch der Begriffe Raum und Zeit und damit für den vollständigen Aufbau der physikalischen Methode, so kommt es, wie in der klassischen Mechanik, die von dieser Notwendigkeit wenigstens an bestimmten Stellen nichts wußte, zur mißverständlichen Formulierung gewisser Sätze als vor jeder physikalischen Einzelerfahrung feststehender „Erkenntnisse", während es sich in Wahrheit um implizite Definitionen fundamentaler physikalischer Ordnungsbegriffe handelte, die unter den der klassischen Physik eigentümlichen Bedingungen aufgestellt wurden. Man erinnere sich an den auf diese Gründe zurückgehenden Streit über die Stellung des Trägheitssatzes in der Galilei-Newtonschen Mechanik, ferner an gewisse Schwierigkeiten der Newtonschen Definition des dynamischen Kraftmaßes. Erwähnt seien auch noch die Unklarheiten der klassischen Physik über den Begriff der Masse.[6] Auf dieser unzureichenden Durchführung des Gedankens von der Zuordnungsdefinition in der klassischen Physik beruhte es auch weiterhin, daß an wieder anderen Stellen, z. B. auf die Frage nach dem Bewegungszustande des Aethers, wegen der Verabsolutierung der Begriffe Raum und Zeit und damit der Mechanik, „Erkenntnisse" gesucht wurden, wo der logischen Situation nach Ordnungsbegriffe schaffende Definitionen hingehörten. Es ist das Verdienst Ernst Machs, auf die Notwendigkeit vollständiger „phänomenologischer Definition" der Grundbegriffe der Mechanik, vor allem des Begriffs der Trägheit, hingewiesen zu haben; es ist das darüber hinausgehende Verdienst der Relativitätstheorie, die Stellen, wo Definitionen fehlten, gefunden, die Definitionen formuliert und ihre Konsequenzen entwickelt zu haben.

Im Zusammenhang damit ergaben sich nun neue Einsichten in das Verhältnis von Mathematik und Physik, in das Verhältnis von „Willkürlichkeit" und „Notwendigkeit" in der physikalischen Begriffsbildung. Daraus wieder folgte eine neue Auffassung des Begriffs vom Naturgesetz und eine genauere Bestimmung des „Geltungsanspruchs" physikalischer Sätze. Nehmen wir einmal an, man wüßte, welche konstruk-

tiven Umformungen empirisch-anschaulicher Sachverhalte für die Physik den Gebrauch der Begriffe „Punkt", „gerade Linie", „Ebene", „Raum", „zwischen", „liegen auf", „Kongruenz" vermitteln. Da bei gegebener Interpretation der Kongruenz in einer Punktmannigfaltigkeit das Parallelen-Axiom festliegt, so kann ein erfahrungsmäßiges Kriterium dafür entwickelt werden, (z. B. die Konstruierbarkeit eines einem Kreise einzubeschreibenden regelmäßigen Sechsecks, dessen Seite gleich dem Radius ist), ob eine aus diesen „physikalisch-geometrischen" Elementen aufgebaute „Punktmannigfaltigkeit" euklidischen oder nicht-euklidischen Charakter hat. Man ist also berechtigt zu prüfen, ob in der Erfahrung dieses Kriterium für den euklidischen oder nichteuklidischen Charakter metrischer Beziehungen zwischen physikalischen „Objekten" zutrifft oder nicht. Zu dieser Prüfung ist man berechtigt, weil in der Geometrie als reiner Beziehungslehre der euklidische Charakter des durch ein System von Axiomen implizit definierten Raumes ohne Hinzufügung eines metrischen Axioms gar nicht bestimmt ist. Sind also die Grundbegriffe und Grundbeziehungen der „Verknüpfung", „Anordnung" und „Kongruenz" für die Physik durch Zuordnungsdefinition festgelegt, so ist das Bestehen des mit einem metrischenAxiom der reinen Geometrie „gleichlautenden", aber nicht „gleichbedeutenden" physikalischen Satzes eine „Erfahrungstatsache".

Trifft man nun die Zuordnungsdefinitionen anders — und dies ist wegen der vorausgesetzten „inhaltlichen Unbestimmtheit" der Grundbegriffe und Grundbeziehungen der reinen Geometrie in der Physik sehr wohl möglich —, so erscheint selbstverständlich ein anderes „Axiomensystem", also ein anderes System von „Erfahrungssätzen", als Ausdruck derselben zwischen den Phänomenen bestehenden Beziehungen. Das „Axiomensystem" eines physikalischen Gebiets repräsentiert demnach wegen seiner Abhängigkeit einerseits von der Wahl der Zuordnungsdefinitionen, anderseits wegen der geforderten Unabhängigkeit des physikalischen Gegenstandes von der Willkür des Beobachters (die sich bei gegebenen Zuordnungsdefinitionen in der Struktur des Axiomensystems äußert), eine unter vielen logisch gleichberechtigten „geometrischen Sprachen". In jeder dieser Sprachen lassen sich dieselben empirischen Beziehungen zwischen den Dingen

ausdrücken. Diese dem Wechsel der Zuordnungsdefinitionen und damit dem Wechsel des Axiomensystems eines physikalischen Gegenstandsgebiets gegenüber invarianten Beziehungen sind es aber, die die Physik treffen will. Es ist eine Aufgabe für sich, diese Beziehungen aus der bei gegebenen Zuordnungsdefinitionen sich einstellenden Struktur des Axiomensystems zu bestimmen. Man sieht jedenfalls dieses: Die Physik als konstruktive Erfahrungswissenschaft fordert unabweislich die erstmalig durch Zuordnungsdefinition herzustellende Repräsentation (Identifizierung) der in der reinen Geometrie implizit eingeführten Grundbegriffe und Grundbeziehungen. Diese Grundbegriffe und Grundbeziehungen werden durch ein besonderes „Anschlußverfahren" verknüpft mit „empirisch anschaulichen", also wahrnehmungsmäßig bestimmbaren Tatbeständen. Diese Tatbestände müssen demnach erkenntnismäßig bereits v o r der Definition des Ansatzpunktes der p h y s i k a l i s c h e n Methode relativ bestimmt werden können. Diese relative Bestimmung erfolgt erkenntnispsychologisch im stufenweisen Aufbau der Begriffe der sogenannten „elementaren Erfahrung". So sind ja die von Newton nicht erklärten Begriffe Raum, Zeit, Ort und Bewegung (die gewöhnlich nicht anders als mit Bezug auf die Sinne aufgefaßt werden), „vorphysikalisch" bestimmte Begriffe. Nun ist es eine Aufgabe für sich, die nur mit Bezug auf die Sinne, also v o r p h y s i k a l i s c h bestimmten Begriffe Raum, Zeit, Ort und Bewegung durch Zuordnungsdefinition, also „Identifizierung", zu p h y s i k a l i s c h e n Begriffen auszugestalten. In der physikalischen Betrachtung werden diese durch „elementare Erfahrung" bereits relativ bestimmten Tatbestände in besonderer Weise, nämlich mathematisch-konstruktiv gefaßt. Letzte V o r a u s s e t z u n g der Physik als einer Wissenschaft, die den Begriff der Erfahrung der „ e l e m e n t a r e n Erfahrung" gegenüber nur g e n a u e r bestimmt, ist das Recht der Bezugnahme auf diese elementare Erfahrung, also im Prinzip auf „erlebnismäßige Gegebenheit". O h n e Zuordnungsdefinition, also auch ohne jene eben genannte Voraussetzung wäre jede im physikalischen Sinne „metrische" Aussage sinnlos.

Da nun die Begriffsbildung der elementaren Erfahrung zur Kennzeichnung ihrer Gegenstandsrelationen „zufällig" dieselben Begriffe verwendet, wie etwa die Geometrie und die Physik, so ist zu beachten, daß diese „phänomenologische Beschrei-

bung" (etwa einer „Bewegung"), und die mathematische und die physikalische Rede von einer Bewegung nicht dasselbe sind. Wenn man also in der elementaren Erfahrung z. B. schon von einer „Länge" spricht, so ist das nicht dasselbe wie in der Mathematik und nicht dasselbe wie in der Physik. Mathematisch können ja die verschiedensten Beziehungen, also selbstverständlich auch jene empirisch-anschaulichen Beziehungen durch den Begriff „Länge" dargestellt werden.

Die Mathematik ist, psychologisch, d. h. ihrer „Entstehung" nach beurteilt, ein verselbständigtes Gefüge jener Beziehungen, die erstmalig aus der „phänomenologischen Beschreibung" „gewonnen" werden (Man erinnere sich an die Art, wie man Kinder aus pädagogischen Gründen in das Rechnen und in die Raumlehre einführt). Mit dieser erkenntnis-psychologischen Kennzeichnung ist selbstverständlich nichts über den Eigenwert der mathematischen Begriffsbildung gesagt, nur muß man sich davor hüten, den erkenntnis-psychologischen Zusammenhang gänzlich zu zerreissen; man wird ihn im Gegenteil unter den Gesichtspunkten einer Psychologie der mathematischen Forschung genau bestimmen müssen. Die Vernachlässigung dieses Zusammenhangs kann sonst leicht Anlaß zu der Meinung geben, daß die mathematischen Axiome der Erfahrung in einem „absoluten" Sinne logisch vorhergingen. Wollte man die Sätze der Mathematik in einem absoluten Sinne der Erfahrung logisch vorhergehend nennen, so würde dies z. B. heißen: dem „Raum", von dem wir reden, wenn wir von „wirklichen Dingen" sprechen, ohne Kenntnis der Beziehungen zwischen diesen Dingen von vornherein eine bestimmte metrische Struktur zuschreiben wollen. Dies ist mindestens in physikalischem Sinne nicht möglich, weil die Geometrien gleichberechtigt sind. Es ist also recht bedenklich, die Mathematik und die Erfahrung, ehe man ihren Zusammenhang im Begriff der Erkenntnis bestimmt hat, als zwei von einander vollständig getrennte Gebiete anzusehen. Zerreißt man die erkenntnismäßige Korrelation zwischen beiden, dann allerdings muß man sich über die „Harmonie" wundern, die zwischen ihnen besteht. Wenn wir auch mathematische Disziplinen haben, für die es heute noch an „Anwendungen" fehlt, d. h. an aufzeigbaren Möglichkeiten für die „Identifizierung" ihrer Grundbegriffe und Grundbeziehungen, so sind doch auch sie nicht ohne jeden Erfahrungsbezug.

Schon aus der „Tatsache", daß der forschende Mathematiker gefundene Beziehungen durch „Zeichen" festhält, und daß er sich abmüht, alle mathematischen Beweise, insbesondere auch den Beweis der Widerspruchslosigkeit eines Axiomensystems in solchen Zeichen auszudrücken, so daß die Richtigkeit jedes Beweises empirisch-anschaulich „aufgezeigt" werden kann, schon aus dieser Tatsache läßt sich ein Beweis gegen jene Meinung entwickeln.

Aber auch die These, daß die Geltung der Mathematik aus der Erfahrung stamme, ist irrtümlich. Diese These ist deshalb irrtümlich, weil die Mathematik, sobald sie nur hinreichend viele Sätze eines Gebiets von empirisch-anschaulicher Bedeutung besitzt, sofort den anschaulichen Sinn jener Beziehungen absichtlich vernachlässigt und schließlich ganz aufgibt, um nachzusehen, ob sich bereits aus jenen Sätzen ein System impliziter Definitionen (Axiome) und Lehrsätze gewinnen lasse. Dies war ja die fundamentale Entdeckung der Griechen, daß man von den Sätzen der „Geometrie" (dies Wort im physikalischen Sinn genommen) nur einige wenige Sätze zu kennen braucht, um alle übrigen, auch solche, die man noch nicht kannte, daraus ohne fernere Zuhilfenahme der „Anschauung" als eines „Beweisgrundes" zu entwickeln. Die „Anschauung" brauchte als „Beweis g r u n d " nur bei Aufstellung jener wenigen fundamentalen Sätze, der Axiome, herangezogen zu werden, und auch für diese Sätze wird von der empirischen Anschauung als „ B e w e i s grund" zu sprechen überflüssig, sobald man sie als implizite D e f i n i t i o n e n für die in der Geometrie vorkommenden Grundbegriffe und Grundbeziehungen hinstellt. Wenn also von „empirisch- anschaulich" geordneten Gegenstandsgebieten geredet wird, so ist es k e i n P r o b l e m , „warum" Mathematik auf sie „anwendbar" ist. Denn die Mathematik i s t ja die Wissenschaft von solchen anschaulich-geordneten Gefügen, und benutzt, erkenntnis-psychologisch gesprochen, jede Gelegenheit, sich von der Anschauung inspirieren zu lassen, um solche Systeme schon im voraus zu entwickeln. Mithin bleibt nur d i e Frage übrig: Nach welchen G e s i c h t s p u n k t e n bestimmt sich „empirische Anschauung", und welcher A r t sind diese Gesichtspunkte? Die Frage kann aber nicht so heißen: „Warum" ist Anschauung „geordnet"? Diese Frage ist überflüssig, weil „Anschauung" definitionsgemäß stets eine besondere Art der Ordnung darstellen

muß, auch wenn wir sie, wie z. B. bei gewissen mikro-physikalischen Erscheinungen, noch nicht auf „Axiome" bringen können, sondern uns mit „empirischen Gesetzen" begnügen müssen.[7]

V.

Erinnern wir uns noch einmal an das Problem „Geometrie und Physik": Erst durch die Erkenntnis der Notwendigkeit von Zuordnungsdefinitionen für den physikalischen Gebrauch der Begriffe Raum und Zeit als Ausprägungen des „Identifizierungsprinzips" ist die Bedeutung des „Axioms" für den Aufbau der physikalischen Raum-Zeitordnung in einem positiven Sinne diskutabel geworden. Von philosophischer Seite hat man diesen Fragen gegenüber oft auf die Gefahr des „Empirismus" bei der Begründung der Mathematik hingewiesen. Aber es handelt sich bei der Einführung physikalischer Zuordnungsdefinitionen, die die Begriffsbildungen des täglichen Lebens vervollständigen, gar nicht darum, die Autonomie der reinen Geometrie durch den Hinweis auf den psychologischen „Ursprung" und die erfahrungsmäßige Bedeutung der durch Zuordnungsdefinitionen interpretierten abstrakt-geometrischen Beziehungen zu schmälern. Im Gedanken der „Identifizierung" liegt ja bereits die Unterscheidung der Geometrie als mathematischer Disziplin von ihren „Anwendungsgebieten". Ein solches Anwendungsgebiet ist aber die Lehre von den empirischen Lagebeziehungen geeignet gewählter „Gegenstände". Der Raum der reinen Geometrie und der Raum der Physik sind gar nicht dasselbe.

Man hat sich auch darüber gewundert, daß die Physik die metrische Form des physikalischen Raumes offen läßt. Insbesondere meinte man: mit einer Aussage über die metrische Struktur des Systems der physikalischen Geometrie hätte man gar nichts über den „Raum der Wirklichkeit", sondern nur etwas über das Verhalten der „Dinge" und „Vorgänge", die bei der Zuordnungsdefinition benutzt werden, ausgemacht. Man brauchte ja auch nur, wenn z. B. die euklidische Geometrie bei einer bestimmten Art von Zuordnungsdefinitionen nicht herauskäme, die Zuordnungsdefinitionen zu ändern, also z. B. die bisher als „starr" bezeichneten Körper nicht als starr anzusehen.

Dieser Hinweis auf die Unbestimmtheit des Begriffs „starrer Körper" ist wieder Ausdruck einer impliziten Definition durch ein Postulat. Hier wird die euklidische Struktur des physikalischen „Raumes" postuliert, und die Begriffe „starrer Körper" und „Bewegung" werden nur so weit als d e f i n i e r t angesehen, als durch sie dieses Postulat erfüllbar ist. Nun aber zeigt die genauere Analyse des Zusammenhangs der Zuordnungsdefinitionen für den physikalischen Gebrauch der Begriffe Raum und Zeit mit der sonstigen physikalischen Begriffsbildung, z. B. mit der Definition der „Kraft", daß man, um dieses Postulat von der euklidischen Struktur metrischer Beziehungen zwischen Körpern in a l l e n Fällen aufrecht zu erhalten, unter Umständen eine ganz b e s o n d e r e Art von „Kräften" einführen müßte. Unter deren Einfluß müßten sich dann alle Körper eines bestimmten Bereiches — die sich gegenüber allen sonstigen Kräften als starr erweisen —, so „deformieren", daß der nichteuklidische Charakter metrischer Beziehungen „vorgetäuscht" wird. Sieht man sich aber diese neue Art von Kräften genauer an, so zeigt sich, daß sie im Prinzip von derselben Art sein müßten, wie die Kräfte, die der von den Dingen unabhängig gedachte „absolute Raum" der klassischen Mechanik auf die Körper bei ihrer Rotation gegen ihn ausübt. Nun war aber der absolute Raum der klassischen Mechanik p h y s i k a l i s c h durch nichts weiter definiert, als durch Trägheitserscheinungen; im übrigen blieb er, weil von den Körpern unabhängig gedacht, physikalisch u n e r k e n n b a r. Er erklärte also nichts weiter, als die Erscheinungen, um deren willen er gerade eingeführt wurde. Er war daher samt der in d i e s e m Sinn aufgefaßten Trägheit eine „okkulte Qualität". Genau so wäre es mit jenen „Kräften", die in besonderen Fällen das nichteuklidische Verhalten anderweitig als „starr" definierbarer Körper vortäuschen sollen. Auch diese Kräfte erweisen sich, wenn man den physikalischen „Raum" n i c h t durch erkennbare, nämlich m e t r i s c h e Beziehungen zwischen solchen als starr d e f i n i e r t e n Körpern bestimmen will, als „okkulte Qualitäten". Gerade aus dem Bestreben heraus, solche okulten Qualitäten auszuschalten, ist aber die Relativitätstheorie entstanden; liefert sie doch, im Gegensatz zur klassischen Mechanik, eine physikalische, d. h. auf e r k e n n b a r e Beziehungen zwischen Körpern gegründete Theorie der Trägheit.

Die Gefahr des „Empirismus" liegt also nicht vor. Im Gegenteil, das Verfahren des Physikers bestätigt die Autonomie der geometrischen Methode und die Bedeutung des mathematischen Axioms für den Aufbau der physikalischen Erfahrung. Die Verabsolutierung einer bestimmten metrischen Struktur des Raumes wird, genau wie die Verabsolutierung der Energie, aus wichtigen erkenntniskritischen Gründen vermieden. Ob und in welchem Sinne man von einer besonderen „Erfahrung stiftenden Funktion" der euklidischen Geometrie reden kann, bleibt eine Frage für sich. Die euklidische Geometrie hat gegenüber anderen Geometrien den Vorzug, daß man in ihr außer von „Kongruenz" auch von „Aehnlichkeit" reden kann. Für die Klärung dieser Frage bedürfte es daher einer genaueren Analyse der Aehnlichkeitsrelation unter dem Gesichtspunkt einer kritischen Lehre vom „Gestaltserlebnis".

Sind also die Zuordnungsdefinitionen gegeben, — und ohne deren implizite Voraussetzung könnte man sich keine einzige Geometrie „veranschaulichen" — so kann die Antwort auf die nunmehr physikalische Frage nach der „metrischen Struktur des Raumes" der Erfahrung überlassen bleiben.

Angesichts dieser Sachlage ergab sich bekanntlich in der Relativitätstheorie eine wichtige, der klassischen Physik gegenüber neue Aufgabe, nämlich das Vorliegen einer bestimmten Raumstruktur nunmehr physikalisch zu interpretieren. In der Tat erlaubt gerade die vorläufige Unbestimmtheit der metrischen Struktur des Raum-Zeitkontinuums und der damit verbundene größere Reichtum mathematischer Beziehungsformen die Formulierung neuer physikalischer Zusammenhänge, die vor der Erweiterung des Raumbegriffs durch Gauß und Riemann gar nicht ausdrückbar waren. Ein solcher Zusammenhang ist z. B. die Abhängigkeit des „Führungsfeldes" von der Materie, die in den Einsteinschen Feldgleichungen ausgedrückt wird. Vor der Entwicklung der Theorie der abstraktgeometrischen Räume nicht verschwindender Krümmung fehlten einfach die begrifflichen Hilfsmittel, die zur Fassung solcher Zusammenhänge notwendig sind. Die moderne Physik hat also dem Kantischen Gedanken, daß die „Erscheinungen sich wechselseitig ihren Ort in Raum und Zeit bestimmen, eine neue Note gegeben. Sie begnügt sich nicht damit, nur festzustellen, daß Raum und Zeit „Formen der Erscheinung" sind, sondern sie vermag — in den Ueberlegungen, die zur Fest-

legung der physikalischen Bedeutung der Form des Raum-Zeit-Intervalls ds führen — darüber hinaus zu zeigen, daß und wie die Differenzierung der Raum-Zeit-Beziehungen der Differenzierung gewisser Erscheinungen äquivalent ist.

VI.

Wir gehen nunmehr zu einigen prinzipiellen Fragen über, welche die von Eddington im Namen der Relativitätstheorie erhobene Forderung[8] nach einem vollständigen System von Zuordnungsdefinitionen für die Bestimmung physikalischer Größen betreffen. In seinen Büchern „Axiomatik der relativistischen Raum-Zeit-Lehre" (Vieweg 1924) und „Philosophie der Raum- Zeit-Lehre" (Gruyter 1928) analysiert Hans Reichenbach die begrifflichen Grundlagen der Relativitätstheorie so weit, daß der Sinn der Eddingtonschen Forderung klar und im einzelnen erkennbar wird. (Ueber grundsätzliche Schwierigkeiten ihrer Erfüllung vergl. Eddington, Rel.-Th. § 98). Für die Aufstellung des Systems der Zuordnungsdefinitionen sind im besonderen zwei Forderungen maßgebend: Erstens die Forderung ihres logischen Anschlusses an die Tatsachen und Begriffsbildungen der bereits bestehenden vorwissenschaftlichen und wissenschaftlichen Erfahrung, vor allem auch der „Physik des täglichen Lebens" und zweitens die Forderung der „Eindeutigkeit" des Systems physikalischer Urteile, das durch das System von Zuordnungsdefinitionen und die daran anschließenden „Axiome" begründet wird. Die erste Forderung rechtfertigt sich durch erkenntnis-psychologische Erwägungen, die zugleich im Hinblick auf das Identifizierungsprinzip bei jeder „Anwendung der Mathematik" sachlich begründet sind. Die zweite Forderung ist Ausdruck des Gedankens, daß dasselbe Zeichen — und auch der Begriff erscheint in der Physik als ein Zeichen — nur grundsätzlich identifizierbaren „Dingen" oder „Vorgängen" zukommen soll. Das Umgekehrte: Bezeichnung desselben physikalischen Dinges oder Vorgangs durch verschiedene Zeichen ist natürlich zulässig. Der Erkenntnisfortschritt besteht ja gerade darin, daß der „Bezeichnung" nach „Verschiedenes" im Prinzip als „dasselbe" erkannt wird, z. B. das sichtbare Licht als ein Ausbreitungsvorgang elektromagnetischer Wellen usw.

Die Erfüllung der ersten Forderung (Forderung des logischen Anschlusses) sucht Hans Reichenbach zu sichern durch

Axiomatisierung des Gedankens vom „Wirkungszusammenhang" der Ereignisse, ohne den offenbar auch von der „elementaren" Erfahrung zu reden sinnlos wäre. Die über die tägliche Erfahrung und die Aufgabe einer bloßen „Chronik des Geschehens" hinausgehende Aufgabe der P h y s i k besteht eben darin, diesen fundamentalen Gedanken des Wirkungszusammenhangs durch Anknüpfung an die Urteile der „elementaren Erfahrung" mit Hilfe geeigneter Zuordnungsdefinitionen und damit zusammenhängender bestimmterErfahrungssätze so zu entwickeln, daß ein deduktives System darauf aufgebaut werden kann. Durch dieses System bekommen dann die relativ isolierten Einzelerfahrungen begrifflichen Zusammenhang. Die Durchführung dieses Gedankens ist die von Hans Reichenbach so genannte „Kausaltheorie von Raum und Zeit". Bei dieser Durchführung wird die Geometrie nur als die Lehre vom B e g r i f f der Messung verwendet.

Um über die Forderung der Eindeutigkeit des Systems physikalischer Urteile ins Klare zu kommen, ist es notwendig, sich an folgendes zu erinnern: In den Begriff eines „metrischen Systems" gehen, abgesehen von der Voraussetzung „individueller Erkennbarkeit" der einzelnen Punkte einer Punktmannigfaltigkeit, ein: erstens die Voraussetzung, daß die Punktmannigfaltigkeit in bestimmter Weise topologisch geordnet sei (wenigstens in herausgeschnittenen Gebieten) und zweitens die Voraussetzung, daß für diese Punktmannigfaltigkeit ein „metrischer Schlüssel" definiert werden kann. Die Mannigfaltigkeit des zu Ordnenden ist in der Relativitätstheorie die Mannigfaltigkeit der „Punktereignisse". Das Koordinatensystem, auf das die Punktereignisse bezogen werden, hat im Wesentlichen t o p o l o g i s c h e Funktionen zu erfüllen. Die M e t r i k muß b e s o n d e r s definiert werden. Durch diese topologische Funktion des Koordinatensystems bekommen die als individuell erkennbar gedachten, aber in ihrer Mannigfaltigkeit verwirrenden Ereignisse ihre wohlbestimmte Stelle in einem umfassenden Zusammenhang; sie können durch Angabe ihrer „Stellenzahlen" „identifiziert", aus jener verwirrenden Fülle heraus „wiedererkannt" werden. Die Voraussetzung der individuellen Erkennbarkeit des zu Ordnenden, die gemacht werden muß, wenn von der Möglichkeit seiner „Identifizierung" gesprochen wird, bezieht sich auf den Gedanken, daß irgendein bereits in der elementaren Erfahrung

aufzeigbarer Gesichtspunkt oder ein Beziehungssystem gefordert ist, um das, „was" da p h y s i k a l i s c h geordnet werden soll, im Zusammenhang der elementaren Erfahrung zu m a r k i e r e n, so daß es mit etwas anderem nicht verwechselt werden kann. Es handelt sich also um die Forderung der begrifflichen „Unverlierbarkeit" eines Punktereignisses für physikalische Zwecke, also um eine über die physikalische Bestimmung im Koordinatensystem h i n a u s g e h e n d e Kennzeichnung. N u r u n t e r V o r a u s s e t z u n g d e r E r f ü l l b a r k e i t d i e s e r F o r d e r u n g hat die Forderung der Eindeutigkeit des Systems p h y s i k a l i s c h e r Urteile einen Sinn. Um nun Eindeutigkeit der „beschreibenden" Funktion des Systems physikalischer Urteile zu erzielen, braucht man eine mathematische Disziplin, die grundsätzlich a l l e Beziehungen von derjenigen Art darzustellen gestattet, die nach Vorgabe gewisser Voraussetzungen zwischen Punktereignissen bestehen können. Diese Disziplin ist nach Eddington die Tensoranalysis.[9] Durch die Tensoranalysis wird die früher erwähnte Auffassung von der in der Physik zunächst nur t e c h n i s c h e n Bedeutung einer speziellen geometrischen Ausdrucksweise restlos durchgeführt. Der physikalische „Gegenstand" wird vollständig in B e z i e h u n g e n zwischen Punktereignissen aufgelöst. Er erscheint schließlich als der Sinn des Ansatzes spezieller Tensorbildungen, mit denen er auch „identifiziert" werden kann. Dieses Prinzip der Identifizierung eines physikalischen Gegenstandes mit gewissen mathematischen Beziehungen charakteristischer „Gestalt" spielte wiederum schon in der älteren Physik, z. B. in den Anwendungen der gewöhnlichen Vektoranalysis auf die Physik, eine große Rolle. Eine systematische Analyse des Begriffs vom physikalischen Gegenstand würde an diesem Punkte einzusetzen haben, denn das Identifizierungsprinzip ist ja nichts weiter als Ausdruck der Notwendigkeit von Zuordnungsdefinitionen. Zuordnungsdefinitionen aber setzen „Aehnlichkeiten" der Relationsstruktur voraus, vermöge deren zwei zunächst „verschiedene" Gegenstände eben „identifiziert" werden können. Wo aber kämen diese Aehnlichkeiten her, wenn die Gegenstände der Mathematik und der Erfahrung nicht eine gemeinsame Wurzel hätten? Es wäre unmöglich, mathematische Relationen aus einem Gebiet der Erfahrung herauszukristallisieren und umgekehrt auch mathematische Beziehungen in ein bestimm-

tes Erfahrungsgebiet „hineinzusehen", wenn „Aehnlichkeit" zwischen „mathematischen" und „natürlichen" Beziehungen nicht auf eine psychologisch-prinzipielle Bedingung des Erkennens und damit auf eine sachliche Bedingung der Erkenntnis verwiese. Ohne klare Einsicht in die prinzipielle Natur dieser Erkenntnisbedingung blieben die Zusammenhänge zwischen Mathematik und Erfahrung „zufällig".

VII.

Was nun die Durchführung der Kausaltheorie von Raum und Zeit anlangt, so können wir uns unter Hinweis auf die Darstellung bei Hans Reichenbach sehr kurz fassen. Da bei gegebenen Axiomen der Verknüpfung und der Anordnung in einer Punktmannigfaltigkeit der metrische Charakter dieser Punktmannigfaltigkeit von der Interpretation der Kongruenz abhängt, so erscheint es selbstverständlich, daß in die Zuordnungsdefinition der physikalischen Kongruenz gerade diejenigen Rücksichten eingehen werden, die die „physikalische"Geometrie von der „abstrakten" unterscheiden. Die Forderung der Eindeutigkeit des Systems physikalischer Urteile ist es letzten Endes, aus der jene Rücksichten hervorgehen. Diese Eindeutigkeitsforderung nun kann — sofern das für die Physik „Gegebene" überhaupt als Punktmannigfaltigkeit konstruiert werden darf, von der Relativitätstheorie in höherem Maße als von der älteren Physik erfüllt werden durch eine der klassischen Physik gegenüber neue Verknüpfung räumlicher und zeitlicher Bestimmungen.

Hans Reichenbach zeigt zunächst, wie man für den Begriff „starrer Körper" — der für die Festlegung einer Einheitslänge gebraucht wird — eine physikalisch bestimmte Definition geben kann.[10] Hierbei spielen die Unterscheidung zwischen „differentiellen" und „universellen" Kräften und der Begriff des „bis zu einem bestimmten Genauigkeitsgrad abgeschlossenen Systems" sowie der Begriff „fester Aggregatzustand" eine besondere Rolle. Dann erst kann die Zuordnungsdefinition der Längeneinheit und der räumlichen Kongruenz von Strecken gegeben werden. Aehnlicher Vorbereitungen bedarf es bei der Definition der Zeiteinheit und der zeitlichen Kongruenz. Hierin stecken folgende nur durch Zuordnungs-

definition lösbare Teilprobleme: erstens das Problem der „objektiven Zeitfolge", zweitens das Problem der zeitlichen „Gleichförmigkeit", drittens das Problem der „Gleichzeitigkeit" an verschiedenen Orten.

Uns interessiert hier insbesondere die Frage nach der „Erkennbarkeit" der objektiven Zeitfolge. Zur definitorischen Lösung dieser Frage benutzt Hans Reichenbach die „Ursach-Wirkungsbeziehung" zwischen zwei Ereignissen E_1 und E_2, d h. eine bereits in der „elementaren Erfahrung" aufzuzeigende „nicht-symmetrische Relation", auf deren Asymmetrie eine Ordnung gegründet werden kann.[11] Die Definition der objektiven Zeitfolge am selben Ort lautet: E_2 heißt später als E_1, wenn E_2 die Wirkung von E_1 ist. Wir betonen: Es wird vorausgesetzt, daß die Ursach-Wirkungbeziehung zwischen zwei für sich bestimmbaren Ereignissen E_1 und E_2 ihrerseits als bestimmbar angesetzt werden kann. In der vorwissenschaftlichen Erfahrung tut man das auch. Man betrachtet ganz bestimmte Ereignisgruppen, aber auch Zustandsfolgen unter dem Gesichtspunkt der Verknüpfung gemäß der Beziehung von Ursache und Wirkung. Erkenntnispsychologisch gesprochen: Man „mutet jemand zu", ganz bestimmte Zustandsfolgen oder Ereignisgruppen im Sinne der Ursach-Wirkungsbeziehung zu gliedern.

Nach Hans Reichenbach soll nun die Beziehung E_1 ist Ursache von E_2 (E_1 U E_2) und ihre Unterscheidbarkeit von der Beziehung E_2 U E_1 für die Physik ausschließlich definiert sein durch die Asymmetrie dieser Relation (durch die ja die objektive Zeitfolge begründet werden soll), nicht aber durch die Berufung darauf, daß der Beobachter bereits um die objektive Zeitfolge wisse. Gegen diese Begründung der objektiven Zeitordnung auf die Asymmetrie der Relation E_1 U E_2 sind Bedenken erhoben worden. Man hat bestritten, daß schon die einfache Kausalbeziehung, wenn sie nicht mit dem Begriff der „Teilursache" operiert, nicht-symmetrisch ist, und daß wir trotz der Behauptung Reichenbachs nicht wüßten, ob E_1 die Ursache von E_2 ist oder umgekehrt, wenn wir nicht schon etwas über ihr Stellenverhältnis in der objektiven Zeitordnung voraussetzen. Wir brauchen auf diesen Streitpunkt hier nicht einzugehen, da wir in jedem Fall voraussetzen dürfen, daß die Behauptung der Asymmetrie der Ursach-Wirkungbeziehung, wenn nicht bereits einen objektiven,

so doch mindestens einen objektivierbaren Sinn hat. Wir könnten uns dabei auf das sonst beim Aufbau der Physik übliche Verfahren der Objektivierung zunächst subjektiver Aussagen berufen, z. B. im Anschluß an Zustandsänderungen eines Dinges, die wir selbst (mit Kant zu reden: durch eine Handlung) herbeiführen.

Diese Objektivierung der Kausalbeziehung liefert dann jedenfalls auch die Objektivierung der Zeitfolge. An den Begriff der Kausalbeziehung schließt sich bei Hans Reichenbach der Begriff der „Kausalkette". Als Postulat wird dabei der Satz eingeführt, daß keine geschlossenen Kausalketten auftreten sollen, d. h. daß ein Komplex von Ereignissen stets so zu interpretieren sei, daß kein Ereignis seine eigene Wirkung ist.

Die Sätze über die Bestimmung der objektiven Zeitfolge liefern das sogenannte topologische Fundament der physikalischen Raum-Zeitordnung. Dieses bleibt, wenigstens in „herausgeschnittenen Gebieten", vom möglichen Wechsel der metrischen Eigenschaften der Raum-Zeit-Mannigfaltigkeit in allgemeinen Gravitationsfeldern unberührt und stellt daher den Kern der Raum-Zeitordnung dar.

Der weitere begriffliche Aufbau der Relativitätstheorie führt vermöge des Nahewirkungsprinzips von der Kausaltheorie von Raum und Zeit über die Zuordnungsdefinition der Begriffe „Zeitfolge am selben Ort und an verschiedenen Orten", „Zeitfolge-Unbestimmheit", „Zeiteinheit", „zeitliche Kongruenz am selben Ort", „Zeitübertragung" zur sogenannten „Lichtgeometrie", in der die Raummessung im Prinzip auf die Zeitmessung zurückgeführt wird. Durch Hinzunahme der sogenannten „Körperaxiome" konstituiert sich alsdann die „Schar der Inertialsysteme". In diesen hängen die Raum-Zeitkoordinaten eines Punktereignisses in einem System mit denen in einem anderen System durch die Lorentz-Transformation mit der Invariante $\Delta s^2 = \Delta x^2 + \Delta y^2 + \Delta z^2 - c^2 \cdot \Delta t^2$ zusammen. Damit ist im wesentlichen der Punkt erreicht, von dem Eddington ausgeht.

VIII.

Es handelt sich nunmehr darum, die prinzipielle Bedeutung jenes Begriffs der „elementaren Erfahrung" genauer zu bestimmen, auf die man verweist,

wenn man vom „Realglied“ in einer physikalischen Zuordnungsdefinition und von der „physikalisch-axiomatischen“Formulierung eines „Erfahrungssachverhalts“ spricht. Wir wissen schon: physikalische Erkenntnis ist Identifizierung eines „gegebenen“, d. h. bereits relativ bestimmten Sachverhalts durch Einordnung in ein neues Beziehungsgefüge. Durch diese Einordnung wird eine Mannigfaltigkeit relativ „vereinzelter“ Erscheinungen einheitlich, d. h. als „Zusammenhang“ gekennzeichnet. Diese Identifizierung aber kann nicht durchaus willkürlich sein, sofern sie Anspruch auf Eindeutigkeit erhebt und zugleich neue Erkenntnisse in weiteren, nicht elementaren Fällen vermitteln will. Sollen nun jene „Dinge“, „Vorgänge“ oder „anschaulich-gegenständlichen“ Beziehungen der elementaren Erfahrung, die in eine physikalische Zuordnungsdefinition eingehen, bereits vor der physikalischen Betrachtungsweise relativ bestimmt und auf Grund dieser Bestimmung wiedererkennbar sein, so müssen auch die von der Wissenschaft vorausgesetzten Urteile der elementaren Erfahrung bereits „Erkenntnisse“, also „Identifizierungen“ darstellen. Mithin bedeutet bereits das „Wiedererkennen“ eines Sachverhalts der elementaren Erfahrung das Wiedererkennen eines Beziehungsgefüges besonderer Art. Nun ist die Mathematik die Wissenschaft von der Entfaltung implizit-definitorisch angesetzter Beziehungsgefüge. Also interessiert uns auch für das Problem der „elementaren“ Erfahrung die Bedeutung des mathematischen Axioms. Innerhalb der Mathematik, die aus methodischen Gründen von der Festlegung einer Bedeutung ihrer Grundbegriffe und Grundbeziehungen über das Axiomensystem hinaus absieht, ist das Axiom eine implizite Definition; in der Physik dagegen ist das Axiom ein Erfahrungssatz relativ zu einem System gegeben gedachter oder stillschweigend als „selbstverständlich“ vorausgesetzter Zuordnungsdefinitionen. Das physikalische Axiom ist also Ausdruck eines „Sachverhalts“, der nur durch Hinzufügung der Zuordnungsdefinitionen „inhaltliche“ Bestimmtheit erhält. Nur relativ zu einem System von Zuordnungsdefinitionen wird die theoretische Physik ein System „fundierter Relationen“, ein System von Beziehungen, durch die sich „Wirkliches“ bestimmt.

Auch der Aufbau des Beziehungsgefüges der elementaren Erfahrung, der elementar-erfahrungsmäßigen „Erkenntnis“ —

und ein Erkenntnisurteil ist stets eine fundierte Relation — muß sich unter dem Gesichtspunkt von Zuordnungsdefinition und damit verbundener axiomatischer „Setzung" gliedern lassen. Sollen nun ganz bestimmte Urteile der elementaren Erfahrung als „grundlegend" für den Aufbau einer besonderen Wissenschaft, z. B. der Physik, angesehen werden können, so müssen sie mindestens hypothetisch als fundierte Relationen eingeführt werden, d. h. sie müssen für die betreffende Wissenschaft ein in besonderem Sinne „unersetzbares" System von Urteilen darstellen. Nur relativ zur Annahme der Forderung der „Unersetzbarkeit" eines besonderen Systems von Urteilen bekommt jeder spezielle Erkenntnisanspruch einer Wissenschaft erst einen Sinn.

Wie weit darf nun der Physiker bei der Begründung einer physikalischen Wahrheit „zurückfragen"? Die Relativitätstheorie lehrt uns die Antwort: Physikalische „Erkenntnisse" — Urteile besonderen synthetischen Charakters — können nur dann sinnvoll gesucht werden, wenn die Erkenntnisfragen und damit die Bedingungen, unter denen eine physikalische Antwort gegeben werden kann, definiert sind.

Genau so verhält es sich aber auch beim „Zurückfragen" im Erkenntniszusammenhang der elementaren Erfahrung. Gegenständliche Erkenntnis im Sinne auch der „vorwissenschaftlichen" Erfahrung kann sinnvoll nur gesucht werden, soweit die Frage als Erkenntnisfrage, also relativ zu den Bedingungen der Bestimmtheit des Erfahrungsurteils definiert ist. Wann aber ist eine Frage eine Erkenntnisfrage? Dann, wenn die Bedingungen erfüllt sind, unter denen die „Identifizierung" eines „Gegebenen" möglich wird. Eine Frage ist also eine Erkenntnisfrage, wenn sie besonderen „Identifizierungsprinzipien" genügt, d. h. besonderen Bedingungen, unter denen die Bestimmung des Gegebenen „möglich" wird. Diese „Forderung der Identifizierung" eines gegebenen Sachverhalts durch ein System von Relationen ist also der definiert letzte Sinn jeder Erkenntnisforderung. Eine Erkenntnisforderung stellen heißt ja, die „eindeutige Bestimmung" von „etwas" verlangen.

IX.

Welcher Art sind nun die Identifizierungsprinzipien der „elementaren" Erfahrung? Um darauf Antwort geben zu können, ist folgendes zu überlegen: Sollen bestimmte Urteile der Erfahrung wirklich „elementar" (grundlegend), also in besonderem, stets genauer zu bestimmenden Sinne „unersetzbare" Urteile sein, so muß die Zurückführbarkeit dieser Urteile auf etwas „außerhalb des Beziehungsgefüges der Erfahrung „Gelegenes" ausgeschlossen sein. Obwohl also Erfahrung stets „gliederbar" und in stufenweisem Aufbau erkenntnispsychologisch erreichbar ist, muß an ganz bestimmten Punkten das Sinnloswerden gewisser Fragen gefordert sein. An ganz bestimmten Punkten der Erfahrung müssen also „Prinzip und Tatsache" zusammenfallen. Nur unter der Voraussetzung, daß im Sinne des Zusammenfallens von Prinzip und Tatsache begründete und damit zugleich Erfahrung begründende Relationen „müssen gedacht werden können", um deren Fundiertheit und zugleich fundierende Funktion man „muß wissen können," nur unter dieser Voraussetzung kann sinnvoll argumentiert und kann überhaupt der Begriff der Erkenntnis erst gegliedert werden.[12] Sofern „argumentiert" wird, kann niemals gezweifelt werden, daß fundierte und fundierende Relationen gesetzt und gefordert sind. Nur auf sie bezieht sich ja die Argumentation, und auch der „Zweifel" ist ein Zweifel nur, soweit er fundiert sein will und für ein Urteil Fundierung erstrebt.[13]

Wir bemerkten eben, daß in gewissen Erfahrungsurteilen Prinzip und Tatsache zusammenkommen. Auf dieses Zusammenfallen von Prinzip und Tatsache nimmt die Physik Bezug, wenn sie von der „Zuordnungsdefinition" und vom „Realglied" einer solchen spricht. Es soll ja etwas „aufgezeigt" werden können, seien es „Gegenstände" oder „Vorgänge", die bei der Festlegung der Maßeinheiten konstruktiv Verwendung finden, oder seien es „Sachverhalte", die „durch Beobachtung" zu bestimmen sind.

Es kann nicht Aufgabe dieser Arbeit sein, diesen Gedanken vom Zusammenfallen von Prinzip und Tatsache, also den Gedanken der durch Erfahrung fundierten und zugleich Erfahrung fundierenden Relationen in alle Einzelheiten zu entwickeln. Wir müssen uns hier mit der Bemerkung begnügen,

daß dieser Gedanke, der mit dem Sinn des Geltungsanspruchs eines Urteils äquivalent ist, ein System definierter Korrelationen zwischen den Prinzipien gegenständlicher Bestimmtheit und der grundsätzlichen Möglichkeit erlebnismäßiger Bestimmung anzusetzen gestattet. Die „Psychologie des Denkens", in deren Kompetenzbereich somit auch das Problem der Bestimmung des Begriffs der „elementaren Erfahrung" gehört, ist ja eine ausgedehnte Wissenschaft, die unabhängig von prinzipiellen Erwägungen über die Theorie des Urteils als fundierter und zugleich fundierender Relation gar nicht möglich wäre. Im Gegenteil, sie muß sich beständig mit dieser Theorie auseinandersetzen.[14] Besteht doch zwischen den positiven Einzelwissenschaften nicht nur ein „tatsächlicher" sachlicher Zusammenhang in Begriff der Erkenntnis und der gegenstandsbestimmenden Funktion des Erkenntnisurteils, sondern zugleich auch die prinzipiell geforderte „tatsächliche" Verknüpfung auf dem Wege über die Bestimmtheit des Urteilsvollzugs. Gerade darum aber ist die Frage nach den Bedingungen der Bestimmtheit des Urteilsvollzugs zugleich die Frage nach den Bedingungen gegenständlicher Bestimmtheit des Erkenntnisurteils. Die Bedingungen gegenständlicher Bestimmtheit des Erkenntnisurteils (Identifizierungsprinzipien) sind wiederum nichts weiter als Determinationsformen des sogenannten allgemeinen „Prinzips der Identität". Dieses allgemeine Prinzip der Identität repräsentiert zugleich die synthetische und die systematische Funktion des Urteils.[15] Nur durch diesen Zusammenhang zwischen sachlicher und erlebnismäßiger Bestimmtheit des Urteils wird der Gegenstand der Erkenntnis ein Korrelat des erkennenden Ich und die sachliche Unabschließbarkeit der Erkenntnisaufgabe geht parallel zur unabschließbaren Bestimmung des Ich, seiner „monadischen Struktur".

Vom Erkenntnisurteil ist also sinnvoll nur zu reden im Hinblick auf die Entfaltung gegenständlicher Bestimmtheit im Akt der Bestimmung. Soll also Erkenntnis im Sinne der „elementaren Erfahrung" als Voraussetzung für die Möglichkeit wissenschaftlicher, z. B. physikalischer Urteile gefordert sein, so müssen mit der Tatsache des Urteils der elementaren Erfahrung zugleich die Prinzipien gegeben sein, denen gemäß der Begriff der Erkenntnis, zugleich aber auch

der Begriff des Erkennens sich gliedert. Differenziert man nun den Begriff der Erkenntnis, so wird man bei der „Bezeichnung" der Terme dieser Korrelationen zweckmäßig darauf Rücksicht nehmen, welche identifizierende Funktion einem bestimmten urteilstheoretischen Terminus im Erkenntnisakt zukommt. Die urteilstheoretische Analyse liefert also ein System von Beziehungsstrukturen, die im Akt des Erkennens müssen identifiziert werden können.

So ergibt sich denn die prinzipielle, d. h. aus dem Begriff und der Forderung der Erkenntnisbestimmtheit herzuleitende Bedeutung aller jener Beziehungen, denen gemäß vom „Gegenstand" und vom „Ich" im Akt des Erkennes gesprochen werden muß. Eine fundamentale Rolle unter jenen prinzipiell geforderten Beziehungen spielt die sogenannte „Psychophysische Beziehung",[16] deren „Realitätswert" deshalb nicht Gegenstand einer Erkenntnisfrage sein kann, weil diese Beziehung das fundamentale Identifizierungsprinzip für „Beziehungen zwischen Realem" darstellt, d. h. weil der Begriff der „Realität" durch ihren Ansatz erst Bestimmtheit erhält. Nur etwas, was zu prinzipiell Erlebbarem in genau zu definierendem Verhältnis steht, kann ja als „wirklich" bezeichnet werden. Durch diese psychophysische Beziehung gewinnen nun die bereits urteilstheoretisch korrelativ zur Gliederung des kritisch gefaßten „Identitätsprinzips" definierbaren Begriffe „Zeit als reine Ordnung", „Gegebenheit" und „Anschauung" ihren konkreten, d. h. in der erlebnismäßigen Gliederung des Erkenntnisurteils aufzuweisenden Sinn. In diesem Zusammenhang wird auch der Begriff des „Raumes" als Ordnungsform des erlebnismäßig „besonderen Nebeneinander" ein Korrelat des Ansatzes der psychophysischen Beziehung. Nicht nur die „Zeit", sondern auch der „Raum" erscheint nunmehr als Identifizierungsprinzip bei der Gliederung des Erlebnisses, und der Begriff „Anschauung", bereits bekannt als urteilstheoretisches Korrelat des Begriffs der „Gegebenheit", erhält jetzt grundsätzliche Bedeutung für die Setzung des Gegebenen im Sinne seiner räumlichen und zeitlichen Bestimmtheit. „Anschauung" des Gegebenen, d. h. die Setzung im Sinne relativer räumlicher und zeitlicher Abgeschlossenheit ist aber nicht bestimmbar ohne den fundamentalen Begriff der „Gestalt".[17] Die Gestalt ist ein Identifizierungsprinzip für eine charakteristische „Ganzheit" und

„Geschlossenheit" des Erlebnisses bezw. des Erlebnisgegenstandes. Die Gliederung des Gestaltserlebnisses fordert den Begriff des „Sinnesmodus", d. h. die Bestimmung der Gestalt als gesehener, gehörter, getasteter Gestalt. Die Differenzierung des Gestaltserlebnisses unter dem Gesichtspunkt der „Gleichzeitigkeit" verschiedener Modalbestimmtheiten begründet den Begriff des „Wahrnehmungsobjekts". Das Wahrnehmungsobjekt ist definierbar nur durch gewisse „Gleichzeitigkeitsforderungen" beim Wechsel gestaltsmäßiger Bestimmungen eines Erlebnisses. Soll etwas als „Wahrnehmungsobjekt" bezeichnet werden können, so ist die relative Konstanz gewisser gestaltsmäßiger Beziehungen beim Wechsel anderer gefordert. Diese Forderung relativer Konstanz gewisser gestaltsmäßiger Beziehungen beim Wechsel anderer konstituiert zugleich den „substantiellen" Charakter des Wahrnehmungsobjekts. Der Substanzbegriff kennzeichnet also zunächst die Forderung der Invarianz gewisser Beziehungen relativ zur gestaltsmäßigen Erlebbarkeit eines „Dinges". Auch „mein Körper" besitzt unter diesem Gesichtspunkt „substantiellen Charakter"; er erscheint in gestaltsmäßiger Hinsicht als „Ding" unter „Dingen". Als Identifizierungsprinzip für die erlebnismäßige Einheit modal differenzierbarer Erlebnisse, also für die Mannigfaltigkeit der Sinnesmodi und ihrer „funktionellen Einheit" heißt „mein Körper" ein „Organismus".[18]

Der Substanzbegriff ist also zunächst ein Identifizierungsprinzip für „Zustandsänderungen" eines „Dinges". In diesem Sinne wird er in der elementaren Erfahrung verwendet. Ist die durch den Substanzbegriff geforderte Bedingung „gestaltsmäßiger Stetigkeit" von „Veränderungen" erfüllbar, so spricht man eben von Zuständen „desselben Dinges". „Dasselbe Ding" ist demnach definierbar nur relativ zur Einheit eines möglichen Gestaltserlebnisses und zu gewissen Kriterien der „Identität" dieses Dinges, die auf die vorausgesetzte Identität „meines Körpers" zurückgehen. Der Substanzbegriff kennzeichnet also wegen der Forderung des Zusammenhangs der „Zustände" nach einem gewissen Kriterium zugleich ein mögliches „Geschehen" an demselben Dinge, also ein „objektives Geschehen". Dieses Geschehen ist aber wie erwähnt, nur identifizierbar durch Bezugnahme auf „mein mögliches Erlebnis". Die Einheit des

Erlebnisses in Korrelation zu seiner möglichen Kennzeichnung als Geschehen an einem Dinge, nämlich „meinem Körper", wird dargestellt durch den Terminus „Präsenz". Der Substanzbegriff ist also ein Korrelat des Begriffs der Präsenz.[19]

Eine Zustandsfolge oder eine „Veränderung" hieß eine „objektive Zustandsfolge", wenn sie den Bedingungen des Substanzbegriffs genügte. Nun aber sahen wir, daß Substanz und Präsenz notwendig miteinander verknüpft sind. Der Begriff des „Zustandes eines Dinges" (eines „objektiven" Zustandes) ist wegen der Forderung „gestaltsmäßiger Bestimmbarkeit" eines Dinges ein Korrelat der Möglichkeit seiner „Beobachtung". Mithin liegt bereits in der Voraussetzung der Möglichkeit einer Beobachtung der prinzipielle Ansatz derjenigen Bestimmungsgründe, die das Objekt und die Einheit des Objektes auch in physikalischer Hinsicht konstituieren.

Eine gewisse Schwierigkeit bietet heute der Physik aus besonderen Gründen die Interpretation des Kausalbegriffs. Wir sahen, daß die Konstruktion der relativistischen Raum-Zeitordnung sich auf die Voraussetzung zurückführen läßt, daß die Asymmetrie der Kausalbeziehung zwischen zwei Ereignissen E_1 und E_2 erkannt werden kann. In der „elementaren Erfahrung" wissen wir um solche unsymmetrischen Beziehungen; wir kennzeichnen ganz bestimmte, z. B. von uns selbst durch eine „Handlung" herbeigeführten Zustandsfolgen unter dem Gesichtspunkt von Ursache und Wirkung. Es ist hier gleichgültig, in welcher Weise sich dieser Begriff der „Handlung" als Grundlage für die Kennzeichnung des Ablaufs physikalischer Vorgänge verwenden läßt. Es genügt festzustellen: Sofern wir um eine „Handlung", z. B. ein Experiment, wissen, wissen wir auch um eine „objektive Ordnung", denn jede „Handlung" hat einen objektiven Sinn. „Erkennen" aber ist eine „Handlung"; also enthält die Forderung, daß etwas „erkannt" und schon, daß etwas „beobachtet" werden soll, bereits die Voraussetzung, daß eine „objektive Ordnung" herstellbar sein muß. „Natur" ist geordnet, sofern sie den Bedingungen der Erkenntnis, also (aus prinzipiellen Gründen) auch den Bedingungen des Erkennens genügt. Sie genügt aber den Bedingungen der Erkenntnis, weil sie korrelativer „Gegenstand" der Erkenntnis ist.

Anmerkungen.

1) Vergl. Schlömilch-Kneser, Kompendium der höheren Analysis, (1923) S. 393/4 und S. 122/3.

2) Vergl. Clemens Schaefer, Einführung in die theoretische Physik, Band II (1921) S. 1—11.

3) Vergl. Clemens Schaefer, Einführung in die Maxwellsche Theorie, (1922), S. 1—10.

4) Vergl. A. S. Eddington, Relativitätstheorie in mathematischer Behandlung, (Berlin 1925), S. 197.

5) Vergl. A. S. Eddington, a.a.O. S. 195.

6) Vergl. Ernst Mach, Die Mechanik in ihrer Entwicklung, (8. Aufl. 1923) S. 210—52.

7) Vergl. A. S. Edington, a.a.O. S. 285 und 287.

8) Vergl. A. S. Eddington, a.a.O. S. 4/5.

9) Vergl. A. S. Eddington a.a.O. S. 66.

10) Vergl. Hans Reichenbach, Philosophie der Raum-Zeit-Lehre. (Gruyter 1928) §§ 5—7.

11) Vergl. Hans Reichenbach, a.a.O. § 21.

12) Vergl. Richard Hönigswald, Die Grundlagen der Denkpsychologie (2. Aufl. 1925) S. 198.

13) Vergl. Richard Hönigswald, Die Skepsis in Philosophie und Wissenschaft. (1914) S. 131.

15) Vergl. Moritz Löwi, Zum Problem der Ganzheit. Synthesis und System, Breslau 1297.

16) Vergl. R. Hönigswald, Denkpsychologie, S. 333/4 und S. 338/9.

17) Vergl. R. Hönigswald, Denkpsychologie, S. 173/75.

18) Vergl. M. Löwi, Ueber spezifische Sinnesenergien, (Breslau 1927), 1. Teil, Kap. III—IV. 2. Teil, Kap. I—III.

19) Vergl. R. Hönigswald, a.a.O. S. 386 ff. Nr. 9—11.

Literatur.

A. S. Eddington, Relativitätstheorie in mathematischer Behandlung; Berlin 1925.

Albert Einstein, Die Grundlage der allgemeine Relativitätstheorie; Leipzig 1916.

Richard Hönigswald, Die Grundlagen der Denkpsychologie; 2. Aufl. Teubner 1925.

Richard Hönigswald, Die Skepsis in Philosophie und Wissenschaft. Göttingen 1914.

Richard Hönigswald, Zum Streit über die Grundlagen der Mathematik. Heidelberg 1912.

Moritz Löwi, Zum Problem der Ganzheit. Synthesis und System. Breslau 1927.

Moritz Löwi, Ueber spezifische Sinnesenergien. Breslau 1927.

Ernst Mach, Die Mechanik in ihrer Entwicklung. 8. Aufl. Brockhaus 1921.

Hans Reichenbach, Axiomatik der relativistischen Raum-Zeitlehre. Vieweg 1924.

Hans Reichenbach, Philosophie der Raum-Zeitlehre. Gruyter 1928.

Clemens Schaefer, Einführung in die theoretische Physik; Gruyter, Bd. I 1914, Bd. II 1921.

Clemens Schaefer, Einführung in die Maxwellsche Theorie, Teubner, 2. Aufl. 1922.

Schlömilch-Kneser, Kompendium der höheren Analysis. 6. Aufl. Vieweg 1923.

Hermann Weyl, Raum, Zeit, Materie. 5. Aufl. Springer 1923.

Lebenslauf.

Ich wurde geboren am 14. Februar 1901 zu Görlitz. Von Ostern 1907 bis 1911 besuchte ich die Volksschule in Löwenberg/Schles., von Ostern 1911 bis 1919 das Reform-Realgymnasium zu Löwenberg/Schles., von Ostern 1919 bis 1920 die gleichnamige Anstalt Zum Heiligen Geist in Breslau, die ich Ostern 1920 mit dem Reifezeugnis verließ. Hierauf studierte ich an der Breslauer Universität vom Sommersemester 1920 bis zum Wintersemester 1925 Mathematik, Physik, Philosophie und Musikwissenschaft. Ich hörte bei den Herren

Baumgartner, Buchwald, Hönigswald, Kneser, Koschmieder, Kühnemann, Ladenburg, Lehmann, Lummer, Reiche, Schneider, Schur und Waetzmann.

Ihnen allen fühle ich mich zu größtem Denk verpflichtet. Ganz besonderen Dank, auch in persönlicher Hinsicht, schulde ich Herrn Prof. Dr. R. Hönigswald und Herrn Geheimrat Prof. Dr. A. Kneser. Ende Juli 1926 bestand ich die Staatsprüfung für das Lehramt an höheren Schulen, Ende September 1928 die pädagogische Prüfung. Seither bin ich im höheren Schuldienst beschäftigt.

Wilhelm Jedlitzka, Studienassessor.